



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑫ Patentschrift
⑩ DE 100 43 383 C 2

⑤1 Int. Cl. 7:
F 02 D 45/00
F 01 N 11/00

⑲1 Aktenzeichen: 100 43 383.9-26
⑲2 Anmeldetag: 2. 9. 2000
⑲3 Offenlegungstag: 14. 3. 2002
⑲5 Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 20. 6. 2002

DE 100 43 383 C 2

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑲3 Patentinhaber:
DaimlerChrysler AG, 70567 Stuttgart, DE

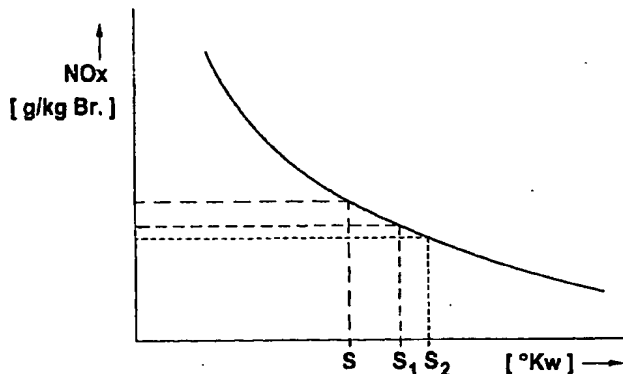
⑲2 Erfinder:
Daudel, Helmut, 73614 Schorndorf, DE; Hohenberg,
Günther, Prof. Dr.-Ing., 64285 Darmstadt, DE

⑲6 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

DE 195 20 605 C1
DE 198 01 626 A1
DE 196 06 680 A1
EP 07 83 918 A1

⑲4 Verfahren zur Bestimmung des Stickoxidgehalts in sauerstoffhaltigen Abgasen von Brennkraftmaschinen

⑲7 Beim Betrieb von Brennkraftmaschinen wird in mindestens einem Zylinder (2) von einem darin alternierend bewegbaren Kolben (12) ein Brennstoffgemisch in einem Brennraum (11) komprimiert. Für ein Verfahren zur Bestimmung des Stickoxidgehalts in sauerstoffhaltigen Abgasen wird die dem Zylinder (2) zugeführte Kraftstoffmenge und die in einem Saugrohr (15) strömende Luftmasse erfaßt und einer elektronischen Schaltung (6) zugeführt. Außerdem wird aus mindestens einem aktuellen Meßwert des Motorbetriebs eine Bestimmung des Schwerpunktes (S) der Verbrennung vorgenommen und aus dem Wert für den Schwerpunkt (S) der Verbrennung sowie unter Einbeziehung der Werte der erfaßten Kraftstoffmenge und Luftmasse der Betrag der Stickoxidemission berechnet.



DE 100 43 383 C 2

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung des Stickoxidgehalts in sauerstoffhaltigen Abgasen von Brennkraftmaschinen.

[0002] Beim Betrieb von Brennkraftmaschinen entstehen Abgase, die verschiedene Schadstoffe enthalten, wobei deren jeweiliger Anteil im wesentlichen von der Zusammensetzung des Kraftstoff/Luft-Gemisches abhängig ist. Insbesondere bei einem Betrieb mit magerem Kraftstoff/Luft-Gemisch, das heißt $\lambda > 1$, ist der Anteil der Stickoxide (NO_x) groß. Damit die in einigen Ländern strengen Abgasvorschriften eingehalten werden können, ist es bekannt, NO_x -Speicherkatalysatoren einzusetzen. Diese NO_x -Speicherkatalysatoren besitzen jedoch trotz Regeneration während bestimmter Betriebsbedingungen lediglich eine begrenzte Speicherkapazität, so daß eine Speicherung der anfallenden Stickoxide nicht immer in ausreichendem Maße möglich ist.

[0003] Um diesem Problem zu begegnen, wurde in der DE 198 01 626 A1 bereits ein Verfahren zur Diagnose eines Katalysators im Abgas von Verbrennungsmotoren vorgeschlagen, der sowohl eine Sauerstoff- als auch eine Stickoxidspeicherfähigkeit aufweist. Bei diesem Verfahren ist vorgesehen, daß eine erste Phasenverschiebung zwischen einer Verringerung der Sauerstoffkonzentration und einer darauf folgenden Reaktion der Sonde und eine zweite Phasenverschiebung zwischen anschließender Erhöhung der Sauerstoffkonzentration und einer darauf folgenden Reaktion der Sonde erfaßt wird. Bei diesem Verfahren wird die Differenz der Phasenverschiebung bestimmt und ein Fehler-signal gespeichert und/oder ausgegeben, wenn die genannte Differenz eine vorgegebene Schwelle nicht erreicht. Mit diesem Verfahren ist eine Einflußnahme auf den Betrieb der Brennkraftmaschine und den Anteil der bei der Verbrennung entstehenden Stickoxide im Abgas nicht möglich.

[0004] Die DE 196 06 680 A1 offenbart ein Verfahren zum Erfassen eines Verbrennungszustands eines Motors mit innerer Verbrennung. Zuerst wird ein Verbrennungsdruck mittels eines Drucksensors erfasst und daraus eine Verbrennungsschwerpunktposition zum Erhalten einer Kurbelwinkelposition ermittelt, die einem Schwerpunkt einer Verbrennung während einer Verbrennungsperiode entspricht. Basierend auf der Verbrennungsschwerpunktposition wird der Verbrennungszustand erfasst. Dadurch kann die Motorsteuerung durch eine ermittelte Ziel-Verbrennungsschwerpunktposition als eine Bezugsgröße mit verbesserter Genauigkeit durchgeführt werden.

[0005] DE 195 20 605 C1 offenbart ein Verfahren zur Regelung des Verbrennungsablaufs bei einem Otto-Verbrennungsmotor, bei dem die den Verbrennungsverlauf bestimmenden Stellgrößen für einen jeweils nachfolgenden Arbeitszyklus durch eine Regeleinrichtung in Abhängigkeit vom erfassten Verbrennungsverlauf eines vorangegangenen Arbeitszyklus festgelegt werden. Dabei wird eine Soll-Durchbrennfunktion für einen jeweiligen Arbeitszyklus während dessen Ladungswechselphase mit Hilfe von erfassten Istwerten von Durchbrennfunktions-Einflussfaktoren eines vorangegangenen Arbeitszyklus vorausberechnet. Dann wird eine Ist-Durchbrennfunktion während der Hochdruckphase des jeweiligen Arbeitszyklus in Echtzeit ermittelt und die vorausberechnete Soll- mit der Ist-Durchbrennfunktion verglichen. Daraus werden aktualisierte Werte für die Durchbrennfunktions-Einflussfaktoren gewonnen, die der verbrennungsregelnden Bestimmung von Stellgrößenwerten für einen nachfolgenden Arbeitszyklus zugrundegelegt werden.

[0006] Aus der EP 0 783 918 A1 ist ein Verfahren zur

Verringerung des Stickoxidgehalts in sauerstoffhaltigen Abgasen von Brennkraftmaschinen, insbesondere von Dieselmotoren und direkt einspritzenden Ottomotoren für Kraftfahrzeuge bekannt. Bei diesem Verfahren werden die Stickoxide mit Hilfe eines in Abhängigkeit von Betriebsparametern zum Abgas zudosierten Reduktionsmittels an einem Katalysator reduziert. Dabei wird als Reduktionsmittel Wasserstoff/oder Kohlenwasserstoff verwendet, wobei in einem ersten Betriebsbereich der Brennkraftmaschine nur Wasserstoff, in einem zweiten Betriebsbereich sowohl Wasserstoff als auch Kohlenwasserstoff und in einem dritten Betriebsbereich nur Kohlenwasserstoff stromauf des Katalysators zum Abgas zugeführt wird. Auch hierbei ist eine Einflußnahme auf die Betriebsweise der Brennkraftmaschine im Hinblick auf die Entstehung des Stickoxidanteils nicht möglich.

[0007] Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Bestimmung des Stickoxidgehalts in sauerstoffhaltigen Abgasen von Brennkraftmaschinen zu schaffen, mit dem die Stickoxidemission auf der Grundlage der tatsächlichen Einflußgrößen bestimmt werden kann.

[0008] Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren zur Bestimmung des Stickoxidgehalts in sauerstoffhaltigen Abgasen von Brennkraftmaschinen mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst.

[0009] Bei der Entwicklung von Brennkraftmaschinen mit Kraftstoffeinspritzung wird bereits seit einiger Zeit angestrebt, die Stickoxid-Emission (NO_x -Emission) durch Berechnung zu bestimmen. Eine solche Bestimmung dient beispielsweise der Vorausberechnung der NO_x -Emissionen und der Versuchsplanung sowie Plausibilitätskontrollen von Meßwerten wie Indizierdaten und NO_x -Werten. Die rechnerische Bestimmung des NO_x mit den derzeitigen Simulationsmodellen ist für die NO_x -Ermittlung völlig unzureichend. Außerdem läßt sich mit diesen Rechenmodellen aufgrund des extremen Rechenzeit-Bedarfs ein Steuer- und Regelalgorithmus für den Fahrzeugeinsatz nicht darstellen.

[0010] Von besonderer Bedeutung ist diese Problematik auch im Zusammenhang mit dem Einsatz von SCR-Katalysatoren. Die Menge des für einen solchen Katalysator einzuspritzenden Harnstoffs steht in einem festen Verhältnis zur NO_x -Emission. Daraus ist zu folgern, daß in Abhängigkeit von der Exaktheit, mit der man die NO_x -Emission bestimmen kann, auch eine entsprechend genaue Dosierung des Harnstoffs möglich ist und so der Wirkungsgrad des Katalysators erhöht werden kann.

[0011] Die vorliegende Erfindung ermöglicht es, die NO_x -Emission exakt zu berechnen, da dieser Berechnung Werte aus den tatsächlichen Einflußgrößen auf die NO_x -Emission zugrunde gelegt werden. Die Höhe der NO_x -Emission einer Brennkraftmaschine hängt primär von der lokalen Temperatur, der Sauerstoffkonzentration und der Verweilzeit der Zylinderladung im Brennraum ab. Die beiden letztgenannten Größen lassen sich verhältnismäßig einfach durch Messung der Motordrehzahl der eingesetzten Luft und der Kraftstoffmenge erfassen. Dagegen ist es sehr viel schwieriger, die Gastemperatur im Brennraum zu ermitteln. Durch die vorliegende Erfindung wird daher vorgeschlagen, eine andere Größe zu verwenden, die unmittelbar mit der für die Stickoxid-Entstehung relevanten Gastemperatur korreliert. Da die Gastemperatur maßgeblich vom Schwerpunkt der Verbrennung, das ist die Lage der 50% Umsetzung des Kraftstoffs in Bezug auf die Kolbenstellung OT abhängt, ist es vorteilhaft, den Schwerpunkt oder eine vergleichbare Größe wie z. B. die Lage der maximalen Energieumsetzung als Bezugsgröße für die NO_x -Emission zu wählen. Aus diesem Wert für den Schwerpunkt der Verbrennung sowie den Werten der erfaßten Kraftstoffmenge und Luftmasse wird der Betrag der NO_x -Emission z. B. mit Hilfe von Neuronalen

Netzen berechnet.

[0012] Die Bestimmung des Schwerpunktes der Verbrennung erfolgt vorzugsweise durch Messung des Brennraumdruckverlaufs. Zu diesem Zweck ist ein Drucksensor im Bereich des Brennraumes vorgesehen. Diese Art der Ermittlung des Schwerpunktes der Verbrennung ist äußerst exakt. Alternativ hierzu besteht auch die Möglichkeit, über ein eigenes Modell zur Berechnung des Schwerpunktes aus dem Beginn der Einspritzung den Wert des Schwerpunktes der Verbrennung zu ermitteln.

[0013] Sofern Drucksensoren für die Bestimmung des Schwerpunktes der Verbrennung vorgesehen sind, so ergeben sich weitere Vorteile, insbesondere im Hinblick auf die Überwachung des Maximaldruckes zur Fehlererkennung, zur Feststellung der Betriebsart und dergleichen.

[0014] In weiterer Ausgestaltung der Erfindung ist es vorteilhaft, daß mittels eines Sensors die Menge des rückgeführten Abgases erfaßt und ein entsprechendes Signal der elektrischen Schaltung zugeführt wird und dieses Signal in die Berechnung des Betrags der NO_x -Emission einbezogen wird. Darüber hinaus ist es vorteilhaft, daß die Sauerstoffkonzentration im Abgas erfaßt und ein entsprechendes Signal der elektrischen Schaltung zugeführt wird und daß dieses Signal in die Berechnung des Betrags der NO_x -Emission einbezogen wird. Um alle Zylinder zu überwachen und einen Vergleich der jeweiligen Druckverläufe zum Zwecke der Fehlererkennung durchzuführen, ist es vorteilhaft, in jedem Zylinder einen Drucksensor anzuordnen, so daß in jedem Zylinder der Druckverlauf im Brennraum erfaßt wird und für jeden Zylinder eine separate Berechnung der NO_x -Emission erfolgt.

[0015] Bei schnell laufenden Brennkraftmaschinen ist es darüber hinaus zweckmäßig, daß die Drehzahl der Brennkraftmaschine erfaßt und ein entsprechendes Signal der elektrischen Schaltung zugeführt wird und daß dieses Signal in die Berechnung des Betrags der NO_x -Emission einbezogen wird. Außerdem ist es zweckmäßig, einen NO_x -Sensor vorzusehen, der den NO_x -Anteil im Abgasstrom erfaßt, wobei der daraus resultierende Meßwert mit dem Betrag der berechneten NO_x -Emission verglichen wird.

[0016] Die Erfindung wird nachstehend anhand der Zeichnung näher erläutert. In der Zeichnung zeigt:

[0017] Fig. 1 eine schematische Darstellung eines Motorblocks mit Druckaufnehmern und Motorelektronik,

[0018] Fig. 2 eine schematische Darstellung eines vertikalen Schnittes durch eine Brennkraftmaschine mit Kraftstoff- und Luftzuführung,

[0019] Fig. 3 die Darstellung des Verlaufs der Verbrennung und Lage des Schwerpunktes, bezogen auf den Kurbelwinkel,

[0020] Fig. 4 die Darstellung der Abhängigkeit der Stickoxidemission von der Lage des Schwerpunktes, bezogen auf den Kurbelwinkel.

[0021] In Fig. 1 ist ein Zylinderblock 1, der vier Zylinder 2 umfaßt, dargestellt. Jedem der Zylinder ist ein im Bereich des Brennraumes befindlicher Drucksensor 3 zugeordnet. Diese Drucksensoren 3 sind mittels Verbindungsleitungen 4 an Eingänge einer Signalaufbereitung 5 geschaltet. Die Signalaufbereitung 5 ist Bestandteil einer elektronischen Schaltung 6, die auch eine Motorelektronik 7 umfaßt. Auf einer in der Zeichnung nicht dargestellten Kurbelwelle der Brennkraftmaschine ist eine Scheibe 8, die beispielsweise gleichzeitig das Schwungrad bilden kann, angeordnet, wobei dieser Scheibe 8 ein Winkelmarkengeber 9 zugeordnet ist. Dieser Winkelmarkengeber 9 ist über eine Leitung 10 an einen Eingang der Signalaufbereitung 5 geschaltet.

[0022] In Fig. 2 ist der Zylinderblock 1 schematisch als Längsschnitt durch den Zylinder 2 dargestellt, wobei in dem

Zylinder 2 ein Kolben 12 verschiebbar geführt ist, wobei die Oberseite des Kolbens 12 einen Brennraum 11 begrenzt. Der Zylinder 2 ist an seiner Oberseite durch einen Zylinderkopf 13 geschlossen, wobei in dem Zylinderkopf 13 ein Einlaßventil 14 und ein Auslaßventil 17 angeordnet sind. Durch das Einlaßventil 14 kann die benötigte Verbrennungsluft aus dem Saugrohr 15 in den Zylinder 2 einströmen, wobei die jeweilige Luftmasse in einem Luftmassenmesser 16 erfaßt wird. Der Luftmassenmesser 16 ist über eine Leitung 22 mit der elektronischen Schaltung 6 verbunden.

[0023] Durch das Auslaßventil 17 gelangen die Verbrennungsgase in eine Abgasleitung 18, die zu einer in der Zeichnung nicht dargestellten Katalysatoranordnung führt. Es ist eine von der Abgasleitung 18 abzweigende Abgasrückführleitung 19 vorgesehen, die stromab des Luftmassenmessers 16 in das Saugrohr 15 mündet. In dieser Abgasrückführleitung 19 befindet sich ein Rückführmengensensor 20, der die Masse des rückgeführten Abgases erfaßt und entsprechende Signale über eine Sensorleitung 21 an die elektronische Schaltung 6 überträgt.

[0024] Im Zylinderkopf 13 ist der bereits zu Fig. 1 beschriebene Drucksensor 3 angeordnet und über die Verbindungsleitung 4 an die elektronische Schaltung 6 geschaltet. Außerdem befindet sich um Zylinderkopf 13 ein Einspritzventil 25, das über eine Einspritzleitung 26 mit einer Einspritzpumpe 23 verbunden ist. Zwischen der Einspritzpumpe 23 und dem Einspritzventil 25 befindet sich eine Meßeinrichtung 24 für die Kraftstoffmasse. Diese Meßeinrichtung 24 ist über eine elektrische Leitung 27 mit der Schaltung 6 verbunden und die Einspritzpumpe 23 ist mit einer Steuerleitung 28 versehen, deren anderes Ende an der Schaltung 6 liegt.

[0025] Die in den Fig. 1 und 2 beschriebene Vorrichtung ermöglicht es, mit Hilfe des Drucksensors 3 den Druckverlauf im Brennraum 11 zu messen. Aus dem Druckverlauf kann der Schwerpunkt S der Verbrennung bestimmt werden, wobei die Lage des Schwerpunktes bei 50% der Umsetzung des Kraftstoffs liegt. Dieser Bezug entspricht dem ersten Hauptsatz der Thermodynamik $dQ = dU + dW$, das heißt, die zugeführte Energie ist gleich der inneren Energie plus der Kolbenarbeit. Die Lage des Schwerpunktes S ändert sich bezüglich des Kurbelwinkels bei Änderung des Verbrennungsverlaufs, wie dies in Fig. 3 dargestellt ist. Ist 50% der zugeführten Energie umgesetzt, so liegt dort der Schwerpunkt S. Mit der gestrichelten Linie in Fig. 3 ist dargestellt, daß bei geändertem Verlauf der Verbrennung beispielsweise durch einen späteren Einspritzbeginn auch eine andere Lage des Schwerpunktes zu verzeichnen ist, der in Fig. 3 mit S_1 angegeben ist.

[0026] Daß die Lage des Schwerpunktes S der Verbrennung unmittelbar Auswirkungen auf die Stickoxidemission NO_x hat, wird aus Fig. 4 deutlich, wobei ersichtlich ist, daß die NO_x -Emission in g/kg Brennstoff größer ist, je geringer der Kurbelwinkel ist, bei dem der Schwerpunkt S erreicht wird. Es ergeben sich somit für spätere Kurbelwinkel und deren Schwerpunkt S_1 bzw. S_2 geringere NO_x -Werte.

[0027] Mit Hilfe der vorliegenden Erfindung kann eine Überwachung des Spitzendruckes P_{\max} sowie dessen Lage, bezogen auf den Kurbelwinkel, erfolgen. Ferner ist es möglich, eine Überwachung bezüglich der Gleichmäßigkeit der Verbrennung in den indizierten Zylindern durchzuführen. Ferner ist der Einsatz eines zusätzlichen NO_x -Sensors zur Redundanz des Systems möglich, wobei ein Vergleich des gemessenen Wertes mit dem berechneten Wert für NO_x erfolgen kann. Die ermittelten Werte für NO_x können für die Steuerung bzw. Regelung von Abgasnachbehandlungssystemen benutzt werden. Die vorliegende Erfindung eignet sich nicht nur zur Durchführung von Versuchen in Prüfständen,

sondern eignet sich insbesondere auch für den Einsatz im Fahrzeug, das heißt, bei der sogenannten On Bord-Diagnose ist eine ständige Berechnung und Kontrolle der NO_x -Emission möglich.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Bestimmung des Stickoxidgehalts in sauerstoffhaltigen Abgasen von Brennkraftmaschinen, wobei in mindestens einem Zylinder (2) ein darin alternierend bewegbarer Kolben (12) ein Brennstoffgemisch in einem Brennraum (11) komprimiert und wobei die dem Zylinder (2) zugeführte Kraftstoffmenge und die in einem Saugrohr (15) strömende Luftmasse erfaßt und einer elektronischen Schaltung (6) zugeführt werden und wobei aus mindestens einem aktuellen Meßwert des Motorbetriebs eine Bestimmung des Schwerpunktes (S) der Verbrennung erfolgt und aus dem Wert für den Schwerpunkt (S) der Verbrennung sowie den Werten der erfaßten Kraftstoffmenge und Luftmasse der Betrag der Stickoxidemission berechnet wird. 10
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß mittels eines Sensors (3) der Druckverlauf im Brennraum (11) erfaßt und mindestens ein dem Druckverlauf entsprechendes Signal der elektronischen Schaltung (6) zugeführt wird und daraus der Schwerpunkt (S) der Verbrennung bestimmt wird. 15
3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die elektrische Schaltung (6) die Motorelektronik (7) umfaßt, in der ein Rechenmodell abgelegt ist, über das aus dem jeweiligen Zeitpunkt des Spritzbeginns (A) der Schwerpunkt (S) der Verbrennung oder eine vergleichbare Größe wie z. B. die Lage der maximalen Energieumsetzung berechnet wird. 20
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß mittels eines Sensors (20) die Menge des rückgeführten Abgases erfaßt und ein entsprechendes Signal der elektrischen Schaltung (6) zugeführt wird und dieses Signal in die Berechnung des Betrags der NO_x -Emission einbezogen wird. 25
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Sauerstoffkonzentration erfaßt und ein entsprechendes Signal der elektrischen Schaltung zugeführt wird und daß dieses Signal in die Berechnung des Betrags der NO_x -Emission einbezogen wird. 30
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß in jedem Zylinder (2) der Druckverlauf im Brennraum (11) erfaßt wird und für jeden Zylinder (2) eine separate Berechnung der NO_x -Emission erfolgt. 35
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß ein NO_x -Sensor den NO_x -Anteil im Abgasstrom erfaßt und ein entsprechender Meßwert mit dem Betrag der berechneten NO_x -Emission verglichen wird. 40
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Drehzahl der Brennkraftmaschine erfaßt und ein entsprechendes Signal der elektrischen Schaltung zugeführt wird und daß dieses Signal in die Berechnung des Betrags der NO_x -Emission einbezogen wird. 45

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

65

- Leerseite -

Fig. 1

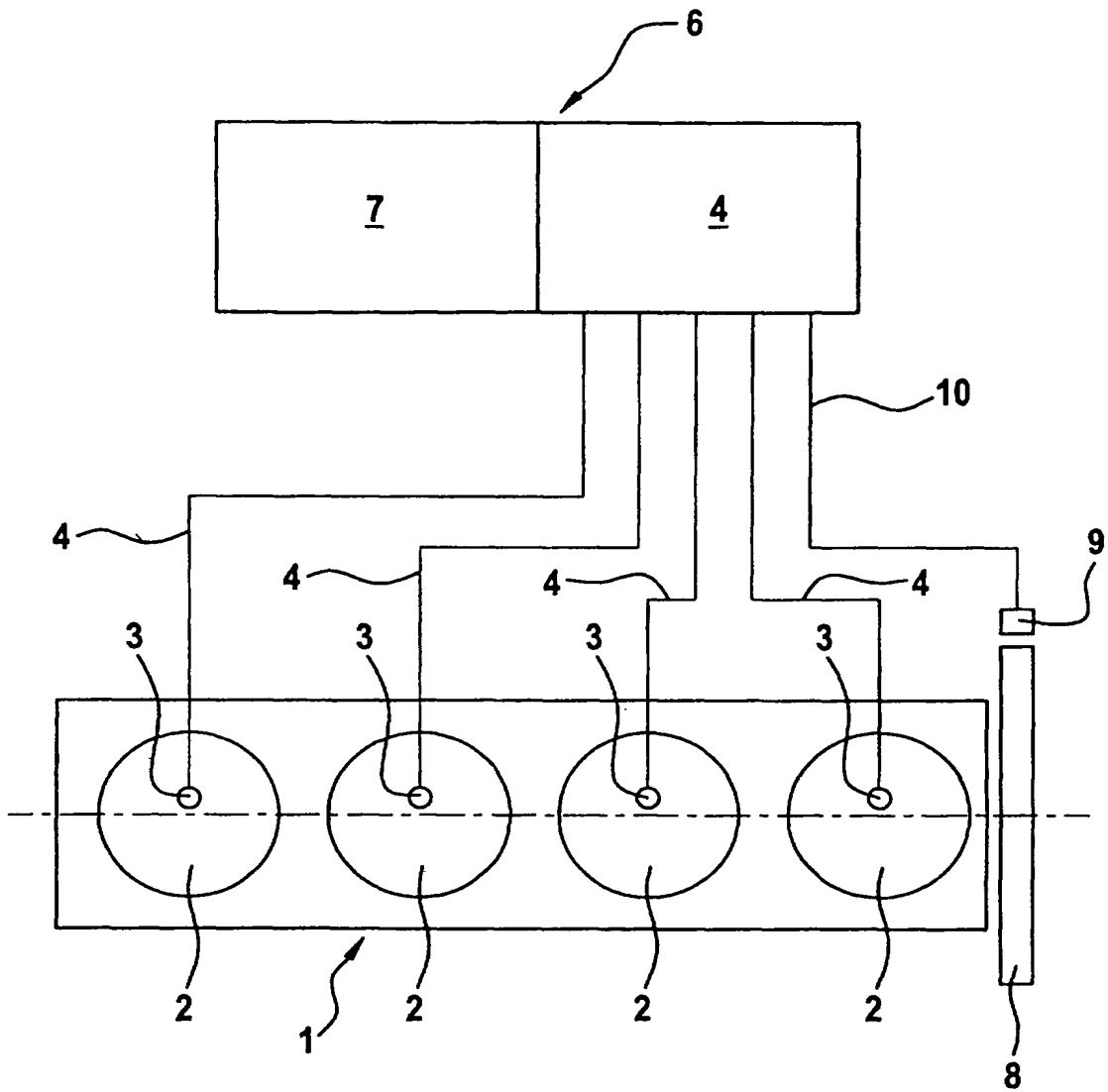


Fig. 2

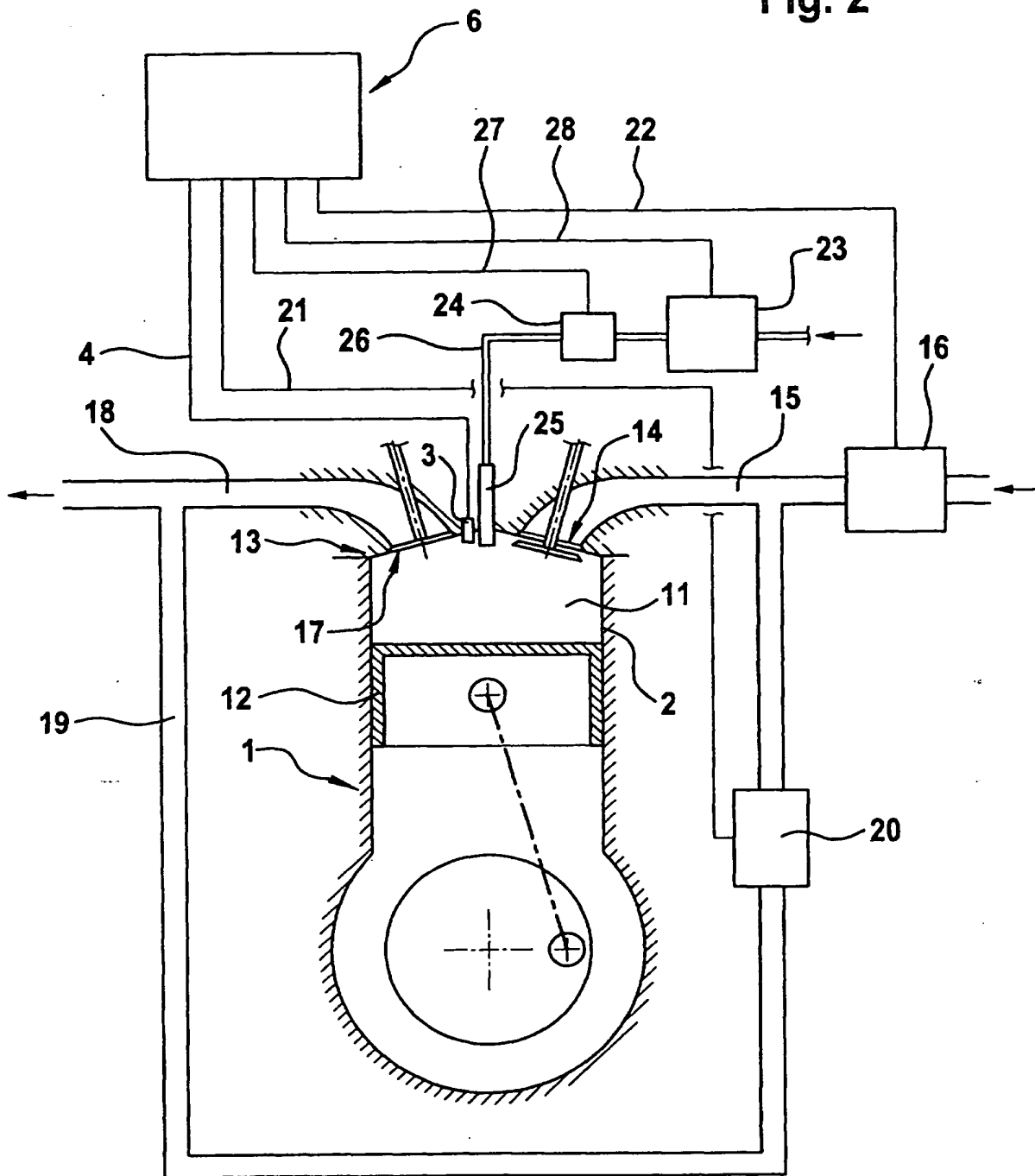


Fig. 3

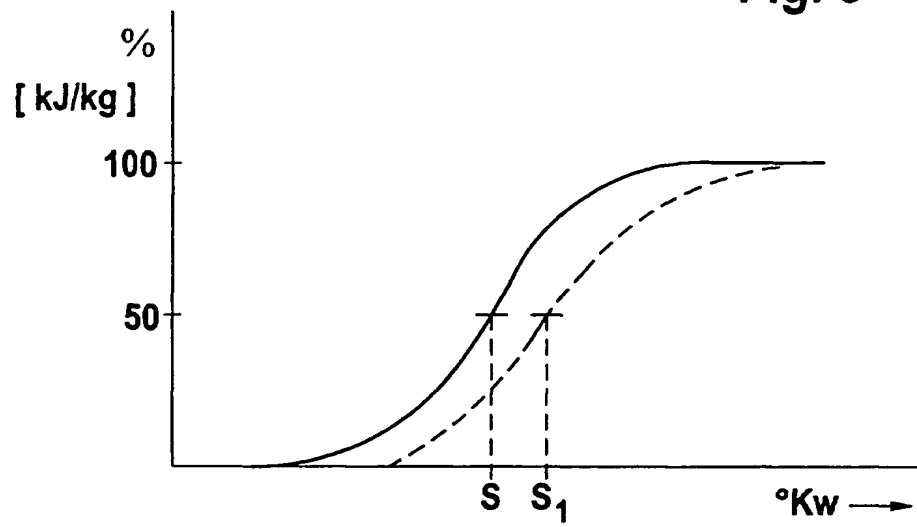


Fig. 4

